

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-313495

(43) 公開日 平成11年(1999)11月9日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 2 P 5/00

H 0 2 P 5/00

X

F

G 0 5 B 13/02

G 0 5 B 13/02

C

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平10-117210

(22) 出願日 平成10年(1998)4月27日

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 加藤 義樹

神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三

菱重工業株式会社神戸造船所内

(72) 発明者 小林 真一

名古屋市中村区岩塚町字高道1番地 三菱

重工業株式会社名古屋機器製作所内

(72) 発明者 黒丸 廣志

神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三

菱重工業株式会社神戸造船所内

(74) 代理人 弁理士 高橋 昌久 (外1名)

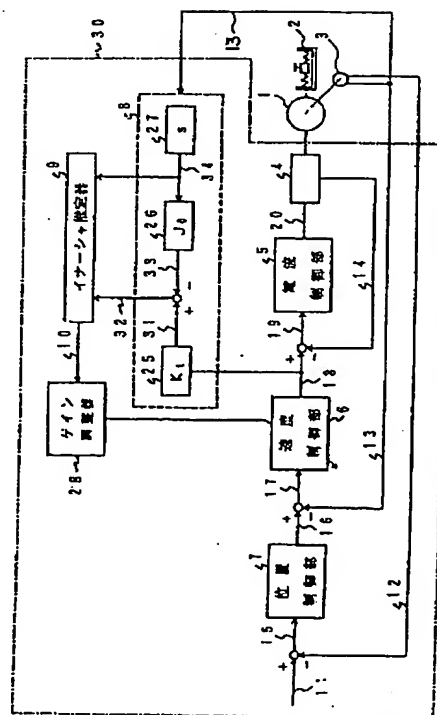
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電動機サーボ系の制御装置

(57) 【要約】

【課題】 制御ゲインの収束を容易に且つ確実に設定し得るオートチューニング機能を持つ電動機サーボ系の制御装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 電動機サーボ系より得られた電流指令と前記速度情報を用いて外乱トルク推定値と、加速度情報とを出力する外乱推定オブザーバと、前記外乱推定オブザーバより得られた前記外乱トルク推定値と加速度情報を用いてイナーシャ推定値を出力するイナーシャ推定器と、前記イナーシャ推定値を用いて電動機サーボ系の速度制御部のゲインを適切な値に調整するゲイン調整器とを具え、前記イナーシャ推定器内で外乱トルク推定値に加速度を乗算し、周期の間積分動作をさせてイナーシャ推定値を求めるか、もしくは前記イナーシャ推定器内で外乱トルク推定値に加速度を乗算した後フィルタ処理してイナーシャ推定値を求めることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電動機サーボ系より得られた電流指令と前記速度情報を用いて外乱トルク推定値と、加速度情報とを出力する外乱推定オブザーバと、

前記外乱推定オブザーバより得られた前記外乱トルク推定値と加速度情報を用いてイナーシャ推定値を出力するイナーシャ推定器と、

前記イナーシャ推定値を用いて電動機サーボ系の速度制御部のゲインを適切な値に調整するゲイン調整器とを具え、

前記イナーシャ推定器内で、周期的に出力する速度指令により得られた外乱トルク推定値と加速度の積と加速度の二乗値の一周期の間の積分値を求め、前者の積分値の後者の積分値に対する商を介して、イナーシャ推定値を求めることを特徴とする電動機サーボ系の制御装置。

【請求項 2】 電動機サーボ系より得られた電流指令と前記速度情報を用いて外乱トルク推定値と、加速度情報とを出力する外乱推定オブザーバと、

前記外乱推定オブザーバより得られた前記外乱トルク推定値と加速度情報を用いてイナーシャ推定値を出力するイナーシャ推定器と、

前記イナーシャ推定値を用いて電動機サーボ系の速度制御部のゲインを適切な値に調整するゲイン調整器とを具え、

前記イナーシャ推定器内で、周期的に出力する速度指令により得られた外乱トルク推定値と加速度との積と加速度の二乗値とを求め、両者のフィルタ処理して得られた商を介して、イナーシャ推定値を求めることを特徴とする電動機サーボ系の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、機械系を駆動する電動機サーボ系の制御装置に関し、特に制御ゲインを自動的に設定し得るオートチューニング機能を持つ電動機サーボ系の制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の電動機サーボ系の制御装置は、制御装置を初めて取り付けした場合や、経年変化により機械系の特性が変化した場合には、機械系の大きさや振動の状態に応じて調整員がゲインを設定し直さなければならぬという問題を有していた。かかる欠点を解消するために、電動機とイナーシャの大きさ又はこれと機械系の振動の大きさに適したゲインを自動的に設定できる電動機サーボ系の制御装置が特開平 4-325886 号に提案されている。

【0003】かかる従来技術例を図面とともに説明する。図 5 は前記従来技術の電動機サーボ系の制御装置の構成を示し、30a はオートチューニング機能付き電動機サーボ系コントローラ、31 はサーボ系のシミュレーション部であり、該シミュレーション部 31 は以下のよ

うに構成されている。即ち、1b はシミュレーションにおける電動機、機械系モデル、5b はシミュレーションにおける電流制御部、6b はシミュレーションにおける速度制御部、7b はシミュレーションにおける位置制御部、12b はシミュレーションにおける位置検出値、13b はシミュレーションにおける速度検出値、14b はシミュレーションにおける電流検出値、15b はシミュレーションにおける位置誤差、16b はシミュレーションにおける速度指令値、17b はシミュレーションにおける速度誤差、18b はシミュレーションにおける電流指令値、19b はシミュレーションにおける電流誤差、20b はシミュレーションにおける電動機電流である。

【0004】又、21 は実際の電流検出値 14 及びシミュレーションにおける電流検出値 14b からそれぞれの電流面積を計算し比較する電流面積計算部、22 は電流面積計算部 21 の計算結果をもとにして電動機・機械系モデル 1b のイナーシャ仮定値の修正量を決定するイナーシャ修正量決定部、23 は修正されたイナーシャ仮定値に対して最適な速度制御部 6、6b のゲインを決めるゲイン決定部である。

【0005】尚、図中 1 は電動機、2 は電動機 1 に取り付けられた機械系であり、電動機 1 と機械系 2 を合わせたものが制御対象である。3 は制御対象 1、2 の位置と速度を測定する位置速度検出器、4 は電動機 1 に流れる電流を測定する電流検出器、5 は電流制御部、6 は速度制御部、7 は位置制御部、11 は位置指令値、12 は位置検出値、13 は速度検出値、14 は電流検出値、15 は位置誤差、16 は速度指令値、17 は速度誤差、18 は電流指令値、19 は電流誤差、20 は電動機 1 に流れる電流、30a は電動機サーボ系コントローラである。

【0006】次に、動作について説明する。先ず電動機サーボ系の動作について説明する。電動機サーボ系コントローラ 30a は、例えば工作機械やロボットなどに対して軌跡制御を行なうためのものであり、望ましい軌跡指令値から位置指令値 11 を生成し、制御対象 1、2 を位置指令値 11 に応じて動作させるためのものである。即ち、検出器 3 によって得られた位置検出値 12 と位置指令値 11 との差を計算して位置誤差 15 を求め、位置制御部 7 において適切な演算を行なって速度指令値 16 を決定する。

【0007】次に、検出器 3 によって得られた速度検出値 13 と速度指令値 16 との差を計算して速度誤差 17 を求め、速度制御部 6 において適切な演算を行なって電流指令値 18 を決定する。さらに、電流検出器 4 によって得られた電流検出値 14 と電流指令値 18 との差を計算して電流誤差 19 を求め、電流制御部 5 において適切な演算を行なって電動機電流 20 を決定する。

【0008】上記した従来装置では、位置制御部 7、速度制御部 6 及び電流制御部 5 においてそれぞれ P（比例）演算、P I（比例・積分）演算を行っており、電

10

20

30

40

50

電動機サーボ系コントローラ 30a を以上のように構成し、各制御部 5〜7 の各演算において制御対象 1、2 に応じた適切なゲインを用いることにより、良好な軌跡制御を実現することができる。

【0009】ここで、電動機 1、検出器 3、4 の特性が予め分かっており、機械系 2 の特性のみが不明であるとする、電流ループ内のパラメータはすべて分かることになり、電流制御部 5 のゲインはこれらのパラメータから予め決定できる。又、工作機械のように複数の電動機を同時に動作させる場合、位置ループの応答周波数は一致させる必要があるため、位置制御部 7 のゲインは予め決定された値を用いることとする。

【0010】従って、この従来技術では速度制御部 6 の比例ゲイン及び積分ゲインの自動調整のみを行なう。ただし、位置制御部 7 のゲインについての速度ループ応答周波数に応じた自動設定は、この実施例の簡単な拡張により実現できる。

【0011】一方サーボ系のシミュレーション部 31 について、その電流制御部 5b、速度制御部 6b 及び位置制御部 7b は、それぞれ実際のサーボ系における電流制御部 5、速度制御部 6 及び位置制御部 7 と同じものである。電動機・機械系モデル 1b は制御対象 1、2 及び検出器 3、4 をモデル化したものであり、このモデルにおいて機械系 2 は機械振動などを考慮せずに単純なイナーシャと仮定している。前述したように電動機 1 及び検出器 3、4 の特性パラメータは明らかなため、電動機・機械系モデル 1b においては電動機 1 と機械系 2 を含めたイナーシャの大きさのみが未知パラメータとなり、このイナーシャの仮定値を J とする。

【0012】この従来例においては、実際のサーボ系とそのシミュレーション部 31 に同じ位置指令値 11 を加えた場合の電流検出値 14、14b を比較し、比較結果に応じてイナーシャ仮定値 J を修正してゆき、最終的にイナーシャの固定値とそれに最適なループゲインを求めるものである。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】従来の電動機サーボ系の制御装置のオートチューニング機能は以上のように構成されており、実電流を時間積分し制御装置内の仮想モデルの電流積分値と比較し、両者を一致させるように順次ゲインを調整してゆくため、収束に時間がかかる。また、収束するという保証が得られていない、という課題があった。

【0014】本発明はかかる課題を解決し得る、特に制御ゲインの収束を容易に且つ確実に設定し得るオートチューニング機能を持つ電動機サーボ系の制御装置を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】かかる課題を解決するために請求項 1 記載の発明は、電動機サーボ系より得られ

た電流指令と前記速度情報を用いて外乱トルク推定値と、加速度情報とを出力する外乱推定オブザーバと、前記外乱推定オブザーバより得られた前記外乱トルク推定値と加速度情報を用いてイナーシャ推定値を出力するイナーシャ推定器と、前記イナーシャ推定値を用いて電動機サーボ系の速度制御部のゲインを適切な値に調整するゲイン調整器とを具え、前記イナーシャ推定器内で、周期的に出力する速度指令により得られた外乱トルク推定値と加速度の積と加速度の二乗値の一周期の間の積分値を求め、前者の積分値の後者の積分値に対する商を介して、イナーシャ推定値を求めることを特徴とする。

【0016】さらに、請求項 2 記載の発明は、前記イナーシャ推定器内で、周期的に出力する速度指令により得られた外乱トルク推定値と加速度との積と加速度の二乗値とを求め、両者のフィルタ処理して得られた商を介して、イナーシャ推定値を求めることを特徴とする。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図に示した実施例を用いて詳細に説明する。但し、この実施例に記載される構成部品の寸法、形状、その相対配置などは特に特定の記載がない限り、この発明の範囲をそのみに限定する趣旨ではなく単なる説明例に過ぎない。

【0018】図 1 は本発明の実施形態による電動機サーボ系の制御装置の構成を表すブロック図である。30 はオートチューニング機能付き電動機制御装置であり、1 の電動機を制御し 2 の機械系を操作する。3 は 1 の電動機に取付けられた検出器であり 12 の位置情報や 13 の速度情報の原信号を発生する。前記制御装置 30 内において、電動機電流 20 を検出器 4 を用いて電流信号 14 とし、その値と電流指令値 18 の差分 19 を用いて電流制御部 5 で電動機電流 20 を制御している。また、速度制御部 6 は、速度情報 13 と速度指令値 16 の差分 17 を用いて電流指令値 18 を出力し、位置制御部 7 は位置情報 12 と位置指令値 11 の差分 15 を用いて、速度指令値 16 を出力する。かかる構成は図 5 の従来技術と同様である。

【0019】ここで前記電流指令値 18 と前記速度情報 13 を用いて、外乱推定オブザーバ 8 は外乱トルク推定値 32 と、加速度情報である加速度 34 をイナーシャ推定器 9 側に出力する。該イナーシャ推定器 9 は、前記外乱トルク推定値 32 と加速度情報である加速度 34 を用いてイナーシャ推定値 10 を出力する。ゲイン調整器 28 は、前記イナーシャ推定値 10 を用いて電動機サーボ系の速度制御部 6 のゲインを適切な値に調整する。次に、どの様にゲインを適切に調整するかについて述べる。

【0020】まず外乱オブザーバ 8 の動作について説明する。本発明の制御装置が対象とする機械系（電動時含む）の特性は次の様に考える。機械系は一定の負荷トルク、粘性抵抗、クーロン摩擦が作用する 1 慣性系とす

る。この運動方程式は次式となる。

$$J \cdot d\omega / dt = T - D\omega - T_c \cdot \text{sign}(\omega) - T_L \quad \dots (1)$$

ここで、 J : 慣性モーメント T : 発生トルク * 【0021】 また、発生トルク T は電流指令 I_c と線形の次式の関係で表される。

D : 粘性抵抗係数 T_c : クーロン摩擦の大きさ $T = K_T \cdot I_c \quad \dots (2)$

T_L : 一定負荷トルク ω : 角速度
 $\text{Sign}(\omega)$ は符号関数であり、 $\text{Sign}(\omega) = 1$ ($\omega \geq 0$)
 $\text{Sign}(\omega) = -1$ ($\omega < 0$) * \therefore (1) 式は (3) 式となる。

$$J \cdot d\omega / dt = K_T \cdot I_c - D\omega - T_c \cdot \text{sign}(\omega) - T_L \quad \dots (3)$$

前記外乱オブザーバ 8 は、速度情報 13 の変化から、加 * 次式 (「数 1」) となる。

速度 34 を求め基準イナーシャ 26 を乗算する事で発生 10 【数 1】

トルク 33 を推定する。すると外乱トルク推定値 32 は※

$$\hat{\tau}_d = -D\omega + T_c \cdot \text{sign}(\omega) + \Delta J \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

ここで、 ΔJ : 基準イナーシャ J_0 と真のイナーシャ J の値の差

★では、 T_d は変化しないとすると、 $dT_d / dt = 0 \quad \dots (5)$

【0022】次にイナーシャ推定器 9 の動作を説明する。前記推定器 9 の推定時間が十分早いとしてその区間★

(4) 式を状態変数 $q_0 \sim q_2$ を用いて次の様に表す。
 【数 2】

$$\hat{\tau}_d(t) = -\Delta J \dot{q}_1(t) + D q_1(t) + T_c q_2(t) \quad (6)$$

この時、速度指令 $r(t)$ が周期的な場合、次の様な性質を持つ。

☆ここで、 T_0 : 周期

$$r(t) = r(t - T_0) \quad \dots (7)$$

従って、(6) 式で示す外乱トルク推定値 32 に加速度 34 を乗算し 1 周期の間積分すると次式の様になる。

$$r(t) \neq 0 \quad \dots (8)$$

☆ 【数 3】

$$\begin{aligned} \int_{(k-1)T_0}^{kT_0} \hat{\tau}_d(t) \dot{\omega}(t) dt &= \Delta J \int_{(k-1)T_0}^{kT_0} \dot{\omega}(t)^2 dt + D \int_{(k-1)T_0}^{kT_0} \omega(t) \dot{\omega}(t) dt \\ &\quad + T_c \int_{(k-1)T_0}^{kT_0} \text{sign}(\omega(t)) \dot{\omega}(t) dt \end{aligned} \quad (9)$$

ここで周期関数の直交性から、次式が成立する。

◆ ◆ 【数 4】

$$\int_{(k-1)T_0}^{kT_0} \omega(t) \dot{\omega}(t) dt = 0 \quad (10)$$

$$\int_{(k-1)T_0}^{kT_0} \dot{\omega}(t) dt = 0 \quad (11)$$

従ってイナーシャ推定値 10 は次式となる。

* * 【数 5】

$$\hat{J} = J_0 + \frac{\int_{(k-1)T_0}^{kT_0} \hat{\tau}_d(t) \dot{\omega}(t) dt}{\int_{(k-1)T_0}^{kT_0} \dot{\omega}(t)^2 dt} \quad (12)$$

ここで、(12)式第2項の分母の値が微小の場合はJの値が不正確となるため、分母の値が微小の場合(12)式の計算は行なわない。

$$G_s(s) = (K_{sp} + K_{si} / s) \cdot K_T / (T_c s + 1) J \cdot s \quad \dots (13)$$

ここで、 K_{sp} ：速度ループ比例ゲイン K_{si} ：速度ループ積分ゲイン

K_T ：トルク定数 T_c ：電流制御遅れ時間

十分電流制御系の応答が早いとすると、交差角周波数 ω_{sc} の付近では $T_c = 0$ となる。またPIの折れ点角周波数 ω_{pi} は次式となる。

$$\omega_{pi} = K_{si} / K_{sp} \quad (14)$$

$\therefore \omega_{sc}$ 近傍では、

$$K_{sp} = J \cdot \omega_{sc} / K_T$$

従って剛性に応じて ω_{sc} を変化させ、Jを適切に与えれば、速度制御部6の制御は最適となる。

【0024】図2は本発明の第2の実施形態による電動サーボ系の制御装置の構成を表すものである。ただし、イナーシャ推定部9aの内部構成が異なるが、構成は基本的に図1に同じである。本発明の特徴であるイナーシャ推定部9aの構成を図3に示す。図3では、図1における式(12)に示す積分計算をフィルタを介して行なうようにしたものである。

【0025】図に示すように、図2の外乱推定オブザーバ8より出力する加速度情報である加速度34と、外乱トルク推定値32をイナーシャ推定部9aに入力させ、イナーシャ推定値10を出力させるようにしたもので、先ず、ミキサ35を介して前記外乱トルク推定値32と前記加速度34との積37を演算し、更に該演算値37を遅れ時間 T_{CAL} を時定数とするフィルタ39により、演算処理をして演算値Aを得る。

【0026】一方、ミキサ36を介して前記加速度34の二乗値38を演算し、更に該演算値38を遅れ時間 T_{CAL} を時定数とするフィルタ39により、演算処理をして演算値Bを得る。次いで、除算部40によりA/Bの演算処理をして式(12)の右辺第2項に示す ΔJ を得て、更に加算部41により基準イナーシャ J_0 を加算してイナーシャ推定値10を得て、ゲイン調整器28に入力させるようにしてある。

【0027】本実施形態によれば、積分動作をフィルタ処理で代用しているので、実装が容易になり、複雑な計算をしないうえに高速で動作可能であり、フィルタ時定数を適切に選べばリアルタイムで実施可能である。またワンチップマイコン等制約条件の厳しい装置にも実装でき

【0023】最後に、ゲイン調整器28の動作を示す。速度系の開ループ伝達関数 $G_s(s)$ は、例えばPI制御の場合、次式で表現できる。

る。

【0028】従って、前記いずれの実施形態においても図4に示すように1周期で同定を完了し、ゲインを適正に調整していることが理解できる。

【0029】

【発明の効果】本発明は前記図5に示す従来技術に比較して下記の様な効果を奏する。

1) 図5に示す従来のチューニング法が、順次イナーシャを変化させてゆき、適応的にイナーシャを同定しているが、本発明では原理的には一回の周期で真のイナーシャを同定できる。

2) 本発明では、周期関数の直交性をイナーシャ導出に使用しており、従来の方式で収束しない不具合があるのに対して、かならず導出できることが証明されている。

3) 前記従来技術では発振してからゲイン調整をするが、本発明では事前に剛性に応じた帯域で設定する事で初めから適切なチューニングが可能となっている。

4) 特に請求項2記載の発明においては、複雑な処理を必要としないため、制約条件の厳しいワンチップマイコン等の組み込み装置にも実現可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施形態による電動サーボ系の制御装置の構成を表したブロック図である。

【図2】 本発明の第2の実施例による電動サーボ系の制御装置の構成を表したブロック図で、基本的には図1と同様である。

【図3】 本発明の実施例2におけるイナーシャ推定部の構成を表した図である。

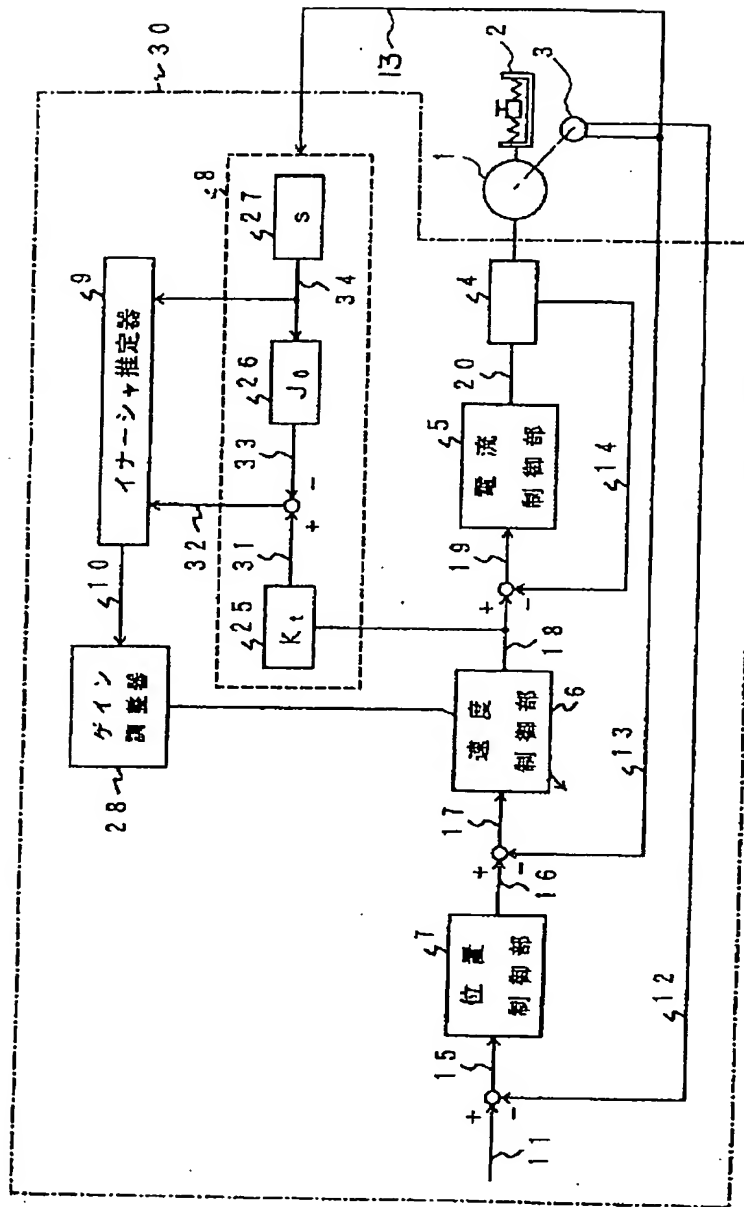
【図4】 オートチューニング開始後のモータ速度と電流指令値の同定状態を表す波形図である。

【図5】 従来技術に係る電動機サーボ系の制御装置の構成を表した図である。

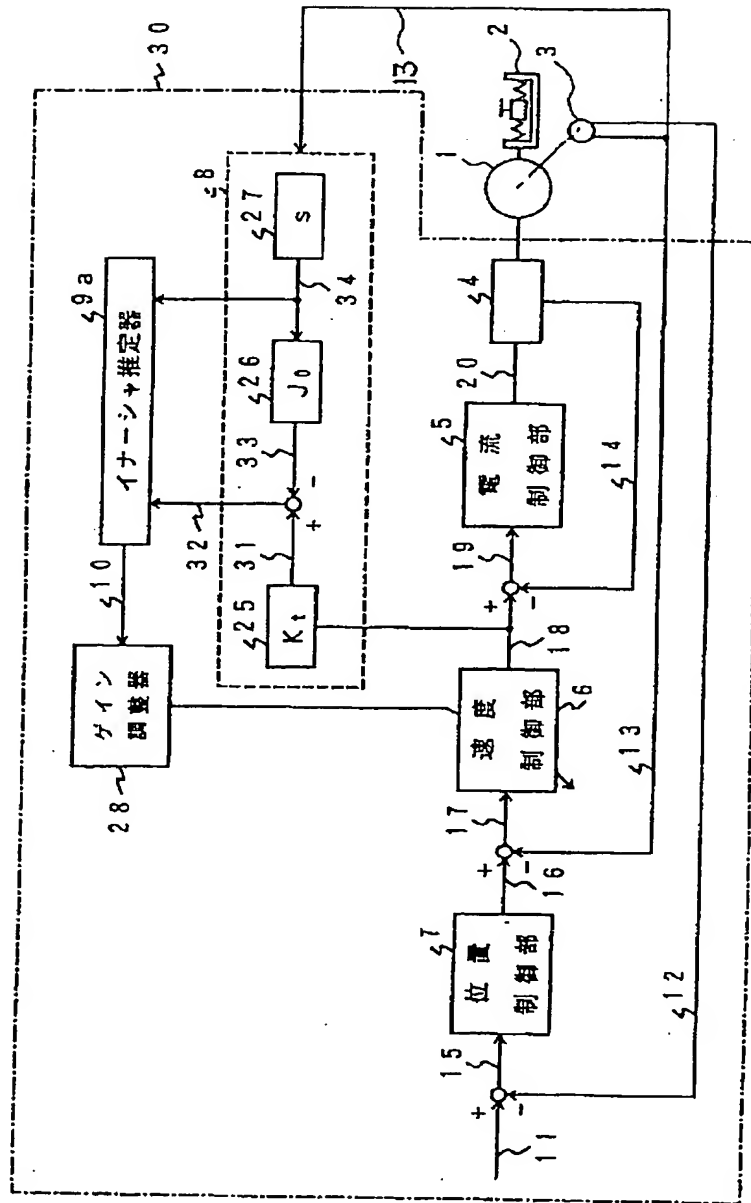
【符号の説明】

- 5 電流制御部
- 6 速度制御部
- 7 位置制御部
- 8 外乱推定オブザーバ
- 9 イナーシャ推定器
- 28 ゲイン調整器

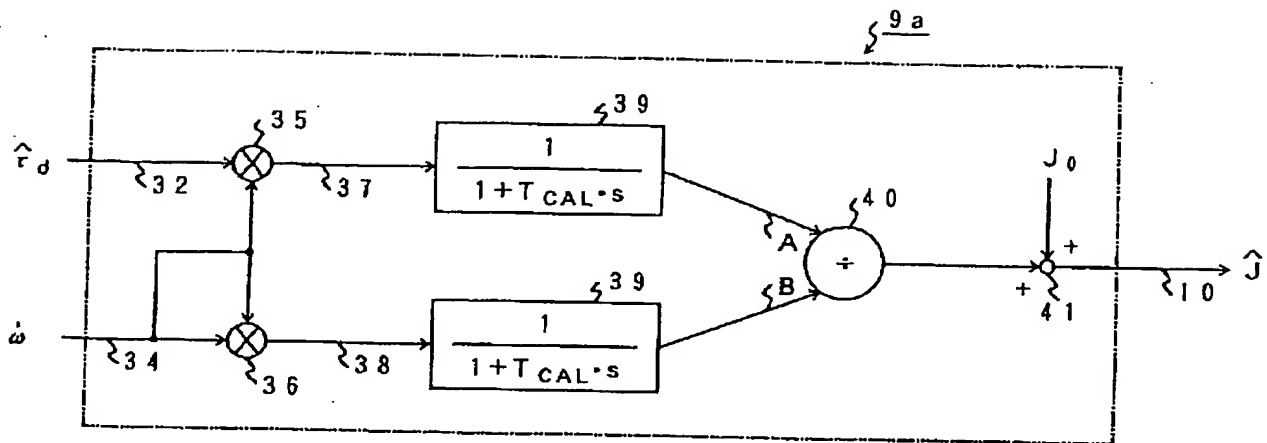
【図1】



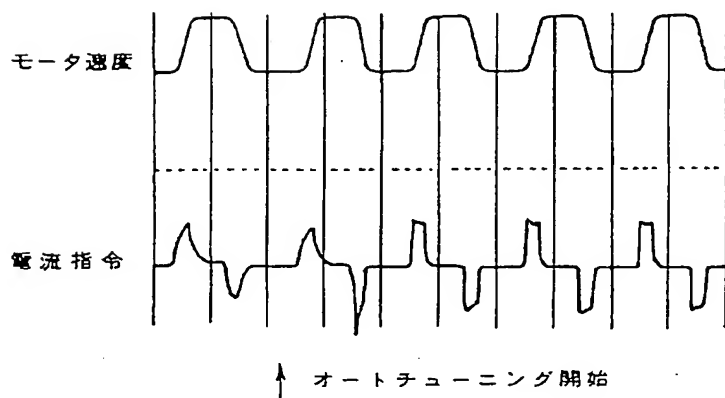
【図2】



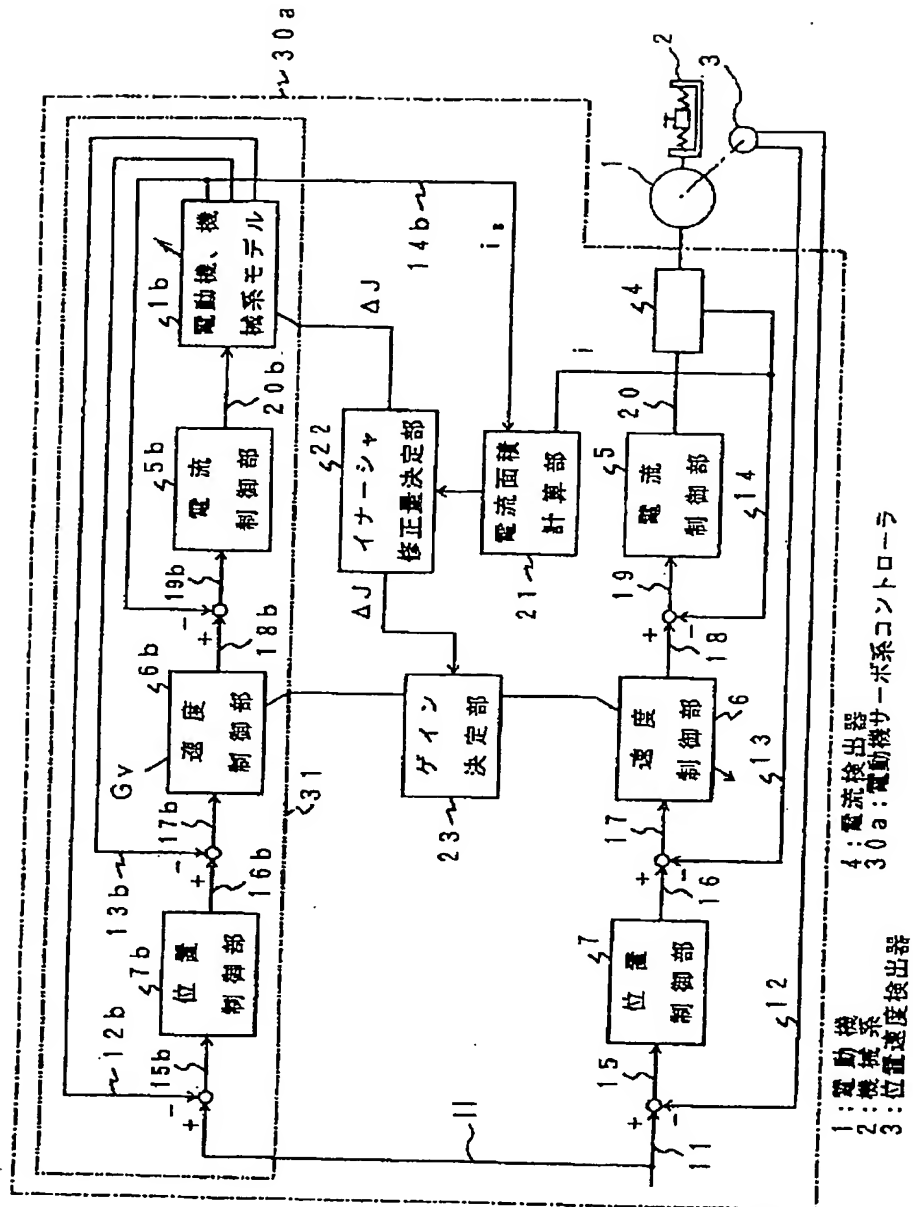
【図 3】



【図 4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 栗屋 伊智郎

神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三

菱重工業株式会社神戸造船所内